

Study on the resonant structure via the analysis of breakup reaction

小川, 翔也

<https://hdl.handle.net/2324/4784400>

出版情報 : 九州大学, 2021, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 小川 翔也

論 文 名 : Study on the resonant structure via the analysis of breakup
reaction

(分解反応解析による共鳴状態の構造に対する研究)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

地上に存在する多くの原子核は、ほぼ同数の陽子・中性子から構成される崩壊寿命が長い安定核であり、現在までに様々な研究が行われ、密度・束縛エネルギーの飽和性、魔法数などの安定核を特徴付ける基本的な性質が明らかにされてきた。近年では、加速器技術の発展により、天然に存在しない不安定核を生成することが可能となり、安定核領域から離れた中性子過剰領域までも研究対象となっている。特に、原子核が自己束縛できる限界を示したドリップライン近傍の不安定核である ${}^6\text{He}$, ${}^{11}\text{Li}$, ${}^{19}\text{B}$ などは 2 中性子ハロー核と呼ばれ、2つの中性子が薄く広がったハロー構造を基底状態に持つ。また、2 中性子が原子核中で空間的にコンパクトに分布するダイニュートロン構造も有する。これらの構造は安定核では現れない特徴であり、精力的に研究が行われている。

また、原子核物理では基底状態だけでなく、その励起状態である共鳴状態も精力的に研究されている。共鳴状態は粒子崩壊閾値よりも上に存在する準安定な状態であり、原子核物理だけでなく、ハドロン物理や原子・分子物理など様々な分野に現れるため、量子多体系における共通のテーマである。安定核の共鳴状態では崩壊閾値近傍に現れる α 粒子のクラスター構造や、より高いエネルギーにおける核子の気体的振る舞いなど、多様な状態が発見されているため注目されている。一方で、不安定核の共鳴状態の形態は、2 中性子ハロー核の共鳴状態におけるダイニュートロン構造や原子・分子物理によく現れる Feshbach 共鳴の存在が示唆され、最近の研究により理解が進みつつある。このような不安定核共鳴状態の知見は、中性子ドリップラインを越えた場所に位置し共鳴状態としてのみ存在する非束縛核を理解する上でも重要である。これらの原子核は超中性子過剰核になり、中性子 3 体力の決定という原子核物理において非常に重要な問題だけでなく、宇宙物理における中性子星の理解にも直接つながる可能性を持っており、その性質を解明することは重要な意義を持つ。そのため、不安定核共鳴状態の構造を明らかにすることは、原子核物理において最重要課題のひとつである。

共鳴状態は非弾性散乱の一種である分解反応を通して調べられ、その観測量である分解断面積のピークとして実験的に観測される。このとき、ピーク位置を共鳴エネルギーとし、崩壊幅に関しては Breit-Wigner 関数で実験データをフィッティングして求められる。また、共鳴状態の構造を調べるためには、単にエネルギースペクトルの解析を行うだけでなく、その崩壊過程まで精密に調べる必要がある。しかしながら、分解断面積のような観測量は、共鳴状態だけでなく非共鳴な連続状態による寄与も混在しているため、共鳴状態の共鳴エネルギー・崩壊幅や構造を調べるためには、

共鳴・非共鳴な状態の寄与を精密に取り扱った解析が必要となる。

以上のことを踏まえ、本博士論文では2中性子ハロー核である ${}^6\text{He}$ に注目した。まず、 ${}^6\text{He}$ の共鳴状態 2_{2}^{+} は理論的にも実験的に調べられているが、この状態は幅が広く顕著なピークとして分解断面積に現れないため、その存在については未だ問題として残っていた。そこで、非共鳴な連続状態も取り入れた反応解析を行うことができる連続状態離散化チャネル結合法と、共鳴状態を非共鳴な状態から分離して記述できる複素スケーリング法による核構造計算を適用した。この解析により、観測量における 2_{2}^{+} 状態の影響を初めて明らかにした。さらに、先行研究の実験解析で行われていたBreit-Wigner型関数による実験データのフィッティングは、 2_{2}^{+} 状態本来の共鳴エネルギーを見誤る可能性があることを指摘し、我々が行った反応解析の重要性を示した。

また、 ${}^6\text{He}$ の共鳴状態 2_{1}^{+} は鋭いピークとして観測され、その共鳴エネルギーや崩壊幅はよく理解されている。しかしながら、その内部構造についてはダイニュートロン構造が存在することが示唆されているものの現在も議論されている。 2_{1}^{+} 状態におけるダイニュートロン構造は、 2_{1}^{+} 状態が崩壊する際の2中性子間相対エネルギーについての分解断面積に影響を与えるが、その量から共鳴状態内のダイニュートロン構造による寄与を評価する方法は確立されていなかった。そこで、共鳴状態の崩壊モードを解析するための新たな手法を考案し、 2_{1}^{+} 状態の解析に適用した。その結果、 2_{1}^{+} 状態にダイニュートロン構造が存在することを強く支持する結果を得た。